

TEMA 5. FENÒMENS ONDULATORIS

1. Introducció

En aquest tema estudiarem bàsicament dos fenòmens ondulatoris

1. Efecte Doppler
2. Difracció.

Després aprofitarem per definir el concepte d'intensitat i energia d'una ona juntament amb el concepte de decibel.

2. L'efecte Doppler

Quan un tren s'acosta a una estació tocant la sirena, notem un canvi del to en el xiulet, just en el moment que la locomotora passa pel davant.

L'efecte anterior fou descobert pel físic austríac Christian Doppler l'any 1840. Posteriorment el francès Fizeau el va estendre a les ones electromagnètiques. Cal comentar que amb l'ajut d'aquest fenomen Hubble va poder establir l'expansió global de l'univers.

En aquest apartat tractarem diversos casos d'estudi de l'efecte Doppler.

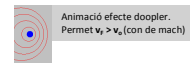
- Emissor mòbil i observador fix.
- Emissor fix i observador mòbil.
- Emissor i observador mòbils.

3. Focus mòbil i observador fix

Suposem un focus puntual que vibra amb una freqüència ***f_{real}*** en el medi material, emetent ones que es propaguen a velocitat ***v_{ona}***. Si el focus no es desplaça, la distància entre dues crestes d'ona consecutives és:

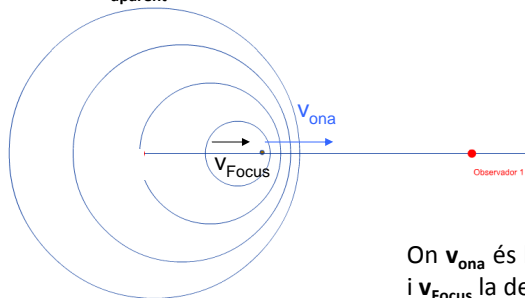
Què passa quan $v_f > v_o$? Vídeo de YOUTUBE

$$\lambda_{\text{real}} = \frac{v_{\text{ona}}}{f_{\text{real}}}$$



Focus s'acosta a l'observador.

Si l'observador fix està per davant del focus, aquest notarà que dos fronts d'ona consecutius arriben amb un interval de temps menor, és a dir l'ona li arribarà amb una ***λ_{aparent}*** menor i per tant sentirà una freqüència aparent ***f_{aparent}*** major.



La relació entre *f* i *f'* ve donada per:

$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}}}{(v_{\text{ona}} - v_{\text{Focus}})} \cdot f_{\text{real}}$$

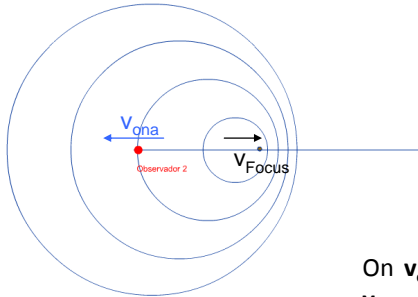
$$v_{\text{ona}} > v_{\text{Focus}}$$

On ***v_{ona}*** és la velocitat de propagació de l'ona i ***v_{Focus}*** la del focus emissor

3. Emissor mòbil i observador fix

Focus s'allunya de l'observador.

Si l'observador fix està per darrera del focus, aquest notarà que dos fronts d'ona consecutius arriben amb un interval de temps major, és a dir l'ona li arribarà amb una λ_{aparent} major i per tant sentirà una freqüència aparent f_{aparent} menor.

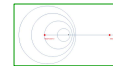


La relació entre f_{real} i f_{aparent} ve donada per:

$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}}}{v_{\text{ona}} + v_{\text{Focus}}} \cdot f_{\text{real}}$$

On v_{ona} és la velocitat de propagació de l'ona i v_{Focus} la del focus emissor.

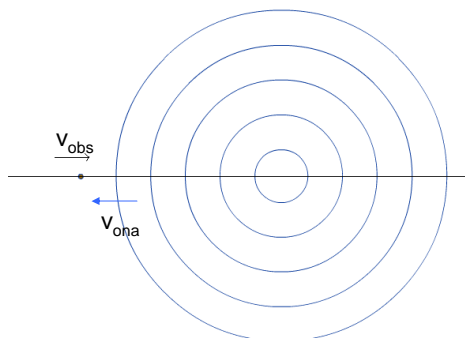
Animació efecte doopler.



4. Emissor fix i observador mòbil

Observador s'acosta a l'emissor.

Si l'observador s'acosta a l'emissor, aquest notarà que dos fronts d'ona consecutius arriben amb un interval de temps menor i per tant sentirà una freqüència aparent f' major.



La relació entre f i f' ve donada per:

$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}} + v_{\text{obs}}}{v_{\text{ona}}} \cdot f_{\text{real}}$$

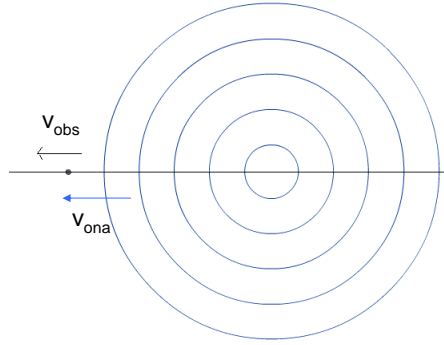
On v_{ona} és la velocitat de propagació de l'ona i v_{obs} la de l'observador.



4. Emissor fix i observador mòbil

Observador s'allunya de l'emissor.

Si l'observador s'allunya de l'emissor, aquest notarà que dos fronts d'ona consecutius arriben amb un interval de temps major i per tant sentirà una freqüència aparent f' menor.



La relació entre f i f' ve donada per:

$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}} - v_{\text{obs}}}{v_{\text{ona}}} \cdot f_{\text{real}} > v$$

On v_{ona} és la velocitat de propagació de l'ona i v_{obs} la de l'observador.

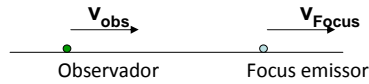


5. Emissor mòbil i observador mòbil

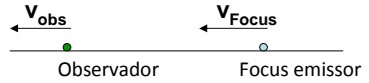
Si l'observador i l'emissor es mouen podem trobar múltiples possibilitats d'anàlisi. Independentment de totes elles l'equació de càlcul de f' és la mateixa excepte els signes a considerar.

$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}} \pm v_{\text{obs}}}{v_{\text{ona}} \pm v_{\text{Focus}}} \cdot f_{\text{real}}$$

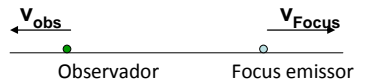
On v_{ona} és la velocitat de propagació de l'ona i v_{obs} la de l'observador i v_{Focus} la del focus emissor.



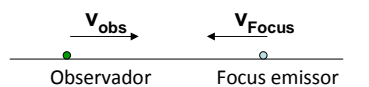
$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}} + v_{\text{obs}}}{v_{\text{ona}} + v_{\text{Focus}}} \cdot f_{\text{real}}$$



$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}} - v_{\text{obs}}}{v_{\text{ona}} - v_{\text{Focus}}} \cdot f_{\text{real}}$$



$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}} - v_{\text{obs}}}{v_{\text{ona}} + v_{\text{Focus}}} \cdot f_{\text{real}}$$



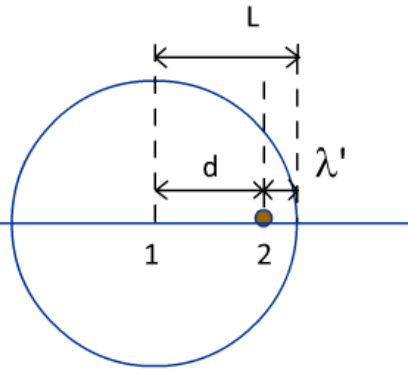
$$f_{\text{aparent}} = \frac{v_{\text{ona}} + v_{\text{obs}}}{v_{\text{ona}} - v_{\text{Focus}}} \cdot f_{\text{real}}$$

5. Demostració de les fórmules de l'efecte Doppler

$$\begin{aligned}\lambda' &= v_{\text{ona}} \cdot T' \\ d &= v_{\text{Focus}} \cdot T \\ L &= v_{\text{ona}} \cdot T \\ L = d + \lambda' &\rightarrow v_{\text{ona}} \cdot T = v_{\text{Focus}} \cdot T + v_{\text{ona}} \cdot T'\end{aligned}$$

[Animació web](#)

$$\begin{aligned}v_{\text{ona}} \cdot T - v_{\text{Focus}} \cdot T &= v_{\text{ona}} \cdot T' \\ \frac{v_{\text{ona}} - v_{\text{Focus}}}{v_{\text{ona}}} \cdot T &= T' \rightarrow \frac{1}{T'} = \frac{v_{\text{ona}}}{v_{\text{ona}} - v_{\text{Focus}}} \cdot \frac{1}{T} \\ f' &= \frac{v_{\text{ona}}}{v_{\text{ona}} - v_{\text{Focus}}} \cdot f\end{aligned}$$



EXEMPLE

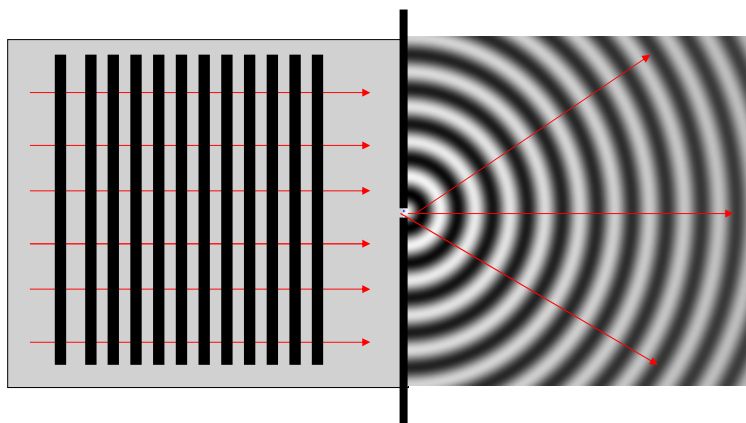
El conductor d'un cotxe que es mou a $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ fa sonar el clàxon que té una freqüència de 650Hz . Si sabem que la velocitat del so és de $340\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, determineu en quin dels quatre supòsits els altres conductors sentiran el to del xiulet més greu?

(Suposeu que els altres conductors circulen a $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.)

DIFRACCIÓ

El fenomen de la difracció es abastament conegut actualment.

Aquest fenomen es produeix quan el front d'ona travessa una petita obertura de dimensions semblants a la mida de la longitud d'ona de l'ona incident. Pel principi de Huygens s'entén el perquè l'obertura actua coma focus emissor.



INTENSITAT DE LES ONES

Quan hem estudiat les ones unidimensionals, em suposat que a mesura que avançava l'ona l'amplitud es mantenia constant.

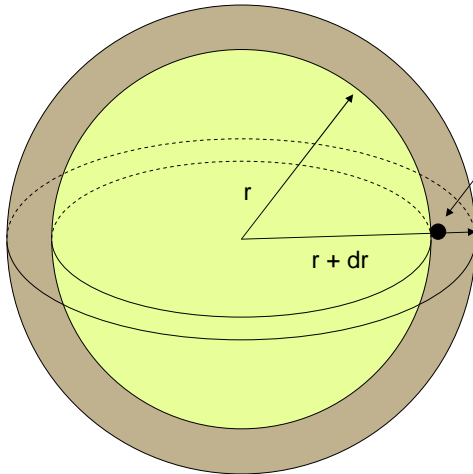
Aquesta suposició però s'allunya bastant de la realitat ja que:

1. Els medis materials absorbeixen l'energia de l'ona i per tant en fan reduir l'amplitud.
2. En les ones bidimensionals i tridimensionals la quantitat d'energia generada pel focus es reparteix en un front d'ona major.

Aquest fenomen és interessant d'estudiar i per això haurem d'usar una nova magnitud física anomenada intensitat d'una ona

ENERGIA D'OSCIL·LACIÓ

Considerem una ona harmònica i esfèrica (ona tridimensional) que es propaga en totes les direccions de l'espai. Quan l'ona avança una distància dr un punt qualsevol del medi al que li arribi el front d'ona vibrarà de forma harmònica com a mínim un cop.



Quina serà l'energia màxima de vibració de la massa m del medi?

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot A^2 \cdot \omega^2$$

INTENSITAT D'UNA ONA

Definim intensitat d'una ona com la quantitat d'energia que travessa perpendicularment una superfície S en un temps t .

$$I = \frac{dE}{S \cdot dt} \rightarrow I = \frac{P}{S} \quad \rightarrow [I] = \frac{W}{m^2}$$

On dE i S venen donats per: $dE = \frac{1}{2} \cdot dm \cdot A^2 \cdot \omega^2$ $S = 4\pi r^2$

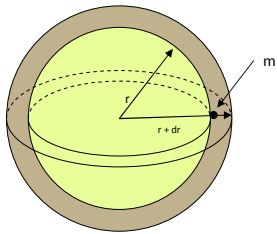
$$I = \frac{dE}{S \cdot dt} = \frac{\frac{1}{2} \cdot dm \cdot A^2 \cdot \omega^2}{4\pi r^2 \cdot dt} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (\rho dV) \cdot A^2 \cdot \omega^2}{4\pi r^2 \cdot dt} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot 4\pi r^2 \cdot dr) \cdot A^2 \cdot \omega^2}{4\pi r^2 \cdot dt} \rightarrow$$

$$\rightarrow I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot v \cdot A^2 = k \cdot A^2$$

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \rightarrow \frac{dV}{dr} = 4\pi r^2 \rightarrow dV = 4\pi r^2 \cdot dr$$

DISMINUCIÓ DE LA INTENSITAT D'UNA ONA ENBECTROMAGNÈTICA EN EL BUIT

- El medi no absorbeix energia de l'ona



La potència emissora que ha generat el focus emissor es manté constant mentre el front d'ona s'expandeix. Per tant de l'equació anterior deduïm:

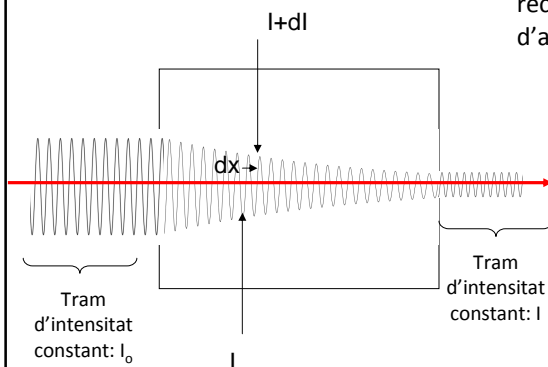
$$\left. \begin{array}{l} I = \frac{P}{S} \rightarrow \\ \text{Si } P = \text{cnt} \rightarrow I \cdot S = \text{cnt} \end{array} \right\} \rightarrow I_1 \cdot S_1 = I_2 \cdot S_2 \rightarrow \boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}}$$

És a dir, **la intensitat d'una ona es redueix de forma proporcional a l'augment dels radis al quadrat.**

DISMINUCIÓ DE LA INTENSITAT D'UNA ONA PLANA EN UN MEDI MATERIAL

- El medi absorbeix energia de l'ona

L'absorció d'intensitat dI depèn de la intensitat inicial I , de la distància recorreguda dx i el coeficient d'absorció del medi μ .



$$\begin{aligned} dI &= -\mu \cdot I \cdot dx \rightarrow \frac{dI}{I} = -\mu \cdot dx \rightarrow \\ \int_{I_0}^I \frac{dI}{I} &= -\mu \int_0^x dx \rightarrow \ln(I) \Big|_{I_0}^I = -\mu \cdot x \\ \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) &= -\mu \cdot x \rightarrow \frac{I}{I_0} = e^{-\mu \cdot x} \end{aligned}$$

$$\boxed{I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}}$$

MESURA DE LA INTENSITAT SONORA: ELS DECIBELS

L'oïda humana és capaç de detectar sons en un interval d'intensitats enormes. El so d'intensitat més elevada que podem tolerar (**llindar de dolor**) és 10^{12} vegades més gran que el més feble (**llindar d'audició**). L'escala de detecció de les mesures de la intensitat és logarítmica i per això cal definir una magnitud logarítmica que ens permeti mesurar el nivell de so.

La mesura de la intensitat relativa d'un so s'anomena nivell d'intensitat, β , i es mesura en decibels i ve definida per:

$$\beta = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

On $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ i $I = _ \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

MESURA DE LA INTENSITAT SONORA: ELS DECIBELS

Els altaveus d'un concert de rock tenen una potència emissora de 100.000 W de so. Si ens situem a 100 m dels altaveus, quin serà el nivell de so en decibels captat les nostres oïdes?

$$I = \frac{P}{S} \rightarrow I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{100.000 \text{ W}}{4\pi \cdot (100)^2} = 0,7958 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$S = 4\pi r^2$$

$$\beta = 10 \cdot \log \left(\frac{0,7958 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) = 119,01 \text{ dB}$$

A 100m d'aquests altaveus estem quasi tocant el llindar de dolor.

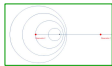
ACTIVITATS

LLIBRE DE TEXT	ACTIVITATS
-PG. 238	1, 2, 3.
MOODLE	ACTIVITATS

Índex d'applets



<http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2-5VibracionesyOndas/Efecto%20Doppler%20I/Efecto%20Doppler.htm>



[Efecte doopler.swf](#)



[Efecte doopler2.swf](#)



[Efecte doopler3.swf](#)